

## Estimasi *Carbon Loss* Pinus Akibat Perubahan Penutup Lahan Dan Kerapatan Vegetasi Di Sebagian Wilayah Bkph Karangobar Tahun 1999-2019

Difa Nisrina Hanum

difa.nisrina.hanum@mail.ugm.ac.id

Sigit Heru Murti BS

sigit@geo.ugm.ac.id

### ABSTRACT

*BKPH Karangobar is an organization that has the authority to manage forestry in Indonesia, but there are problems with land cover and vegetation density changes. This study was carried out with aim of mapping carbon stock in some areas of BKPH Karangobar in 1999 and 2019, and also analyzing the amount of carbon loss due to land cover and vegetation density changes in the study area. Land cover information is extracted using the maximum likelihood algorithm, while carbon stock value is extracted from the vegetation index, where biomass value is obtained using an allometric equation by Waterloo (1995) and used linear regression. Then, to know carbon loss value we use PCC. Distribution of carbon stock value is equal to -41,78 ton/ha until 109,39 ton/ha in 1999, and in 2019 is equal to -43,04 ton/ha until 54,19 ton/ha. And it was found that total carbon loss value was 351.710,14 ton/ha.*

*Keywords: land cover changes; vegetation density changes; carbon loss; Landsat 5 TM imagery; Landsat 8 OLI/TIRS imagery; pine.*

### Abstrak

BKPH Karangobar sebagai salah satu pihak yang berwenang mengelola hutan di Indonesia ternyata menghadapi masalah terkait perubahan penutup lahan dan kerapatan vegetasi. Oleh karena itu, Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk memetakan nilai cadangan karbon di wilayah BKPH Karangobar pada tahun 1999 dan 2019, serta mengetahui nilai *carbon loss* pohon Pinus akibat perubahan penutup lahan dan kerapatan vegetasi di wilayah tersebut menggunakan citra Landsat multitemporal. Ekstraksi informasi penutup lahan dilakukan menggunakan *maximum likelihood algorithm* dan ekstraksi informasi kelimpahan vegetasi menggunakan transformasi indeks, sedangkan metode perhitungan karbon menggunakan persamaan allometrik menurut Waterloo (1995) dan regresi linear. Kemudian, untuk mengetahui perubahan penutup lahan dilakukan menggunakan metode PCC. Hasilnya diperoleh sebaran nilai cadangan karbon dari model SAVI sebagai model terbaik pada tahun 1999 adalah sebesar -41,78 ton/ha hingga 109,39 ton/ha, dan sebesar -43,04 ton/ha hingga 54,19 ton/ha untuk tahun 2019. Sementara, total nilai *carbon loss* yang terjadi sebesar 351.710,14 ton/ha.

Kata kunci: penutup lahan; perubahan kerapatan vegetasi; *carbon loss*; citra Landsat 5 TM; citra Landsat 8 OLI/TIRS; Pinus.

### PENDAHULUAN

BKPH Karangobar merupakan salah satu unit kerja dibawah Perum Perhutani. BKPH Karangobar membawahi beberapa

Resort Pengelolaan Hutan (RPH) diantaranya adalah RPH Batur, RPH Pandanarum, RPH Kalibening, RPH Wanayasa, dan RPH Siweru yang termasuk ke dalam Kelas Perusahaan

Pinus. Fungsi hutan yang terdapat di wilayah BKPH Karangobar sendiri terdiri dari fungsi lindung, produksi, dan produksi terbatas. Hutan di BKPH Karangobar tentunya menjadi kontributor dalam penyerapan karbon di atmosfer. Namun pada kenyataannya, dalam pengelolaan hutan muncul beberapa kendala seperti terjadi perubahan penutup lahan atau penggunaan lahan oleh masyarakat, terjadi perubahan kerapatan vegetasi akibat aktivitas manusia ataupun akibat dinamika dari vegetasi itu sendiri. Masalah tersebut dapat memberikan dampak terhadap perubahan nilai cadangan karbon.

Pentingnya mengetahui nilai cadangan karbon yang hilang pada suatu wilayah juga sejalan dengan salah satu fokus perhatian dari *Intergovernmental Panel on Climate Changes* (IPCC) yang merupakan sebuah organisasi di bawah naungan PBB, dimana IPCC memberikan perhatian lebih untuk melakukan perhitungan cadangan karbon dari biomassa hutan (Basuki, 2012). Selain itu, Brown (2002, dalam Basuki 2012) juga menyatakan perlu dilakukan monitoring serta pelaporan secara berkala tentang emisi karbon yang ada disuatu negara. Oleh karena itu, mengetahui cadangan karbon wilayah BKPH Karangobar secara multitemporal perlu dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sebaran nilai karbon di sebagian wilayah BKPH Karangobar pada

970 petak yang diusahakan, yang terdiri dari 141 petak hutan lindung (HL), 25 petak hutan produksi (HP), dan 804 petak hutan produksi terbatas (HPT).

tahun 1999 dan 2019, mengetahui akurasi dari model estimasi cadangan karbon, dan menganalisis besar nilai *carbon loss* akibat perubahan penutup lahan dan perubahan kerapatan vegetasi.

## **METODE PENELITIAN**

### **Lokasi Penelitian**

BKPH Karangobar merupakan satuan unit kerja bagian dari KPH (Kesatuan Pemangkuan Hutan) Banyumas Timur, Divisi Region Jawa Tengah dengan liputan wilayah mencakup Kecamatan Karangobar, Wanayasa, Kalibening, Batur, Pejawaran, Punggelan, Pagentan, Pandanarum, Banjarnangu, dan Madukara. Seluruh wilayah tersebut termasuk ke dalam Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah, seperti pada gambar 3.1. Letak geografis lokasi kajian berada pada 7.17° LS - 7.24° LS dan 109.68° BT - 109.92° BT.

Wilayah BKPH Karangobar memiliki luas 11.603,28 Ha. Dalam pelaksanaannya, BKPH Karangobar membawahi beberapa Resort Pengelolaan Hutan (RPH), diantaranya adalah RPH Batur, RPH Pandanarum, RPH Kalibening, RPH Wanayasa, dan RPH Siweru. Fungsi hutan yang terdapat di wilayah BKPH Karangobar sendiri terdiri dari fungsi lindung, produksi, dan produksi terbatas. Jumlah total petak di wilayah BKPH Karangobar sebanyak

### **Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat komputer yang terinstal perangkat lunak pengolah citra dan data

spasial, serta perangkat lunak Microsoft Excel untuk mengolah analisis statistik. Sementara, bahan yang digunakan diantaranya sebagai berikut:

1. Citra Landsat 5 TM C1 *path* 120 *row* 65 perekaman tanggal 6 Juli 1999.
2. Citra landsat 8 OLI/TIRS C1 *path* 120 *row* 65 perekaman tanggal 14 Oktober 2013.
3. Citra landsat 8 OLI/TIRS C1 *path* 120 *row* 65 perekaman tanggal 30 Agustus 2014.
4. Citra landsat 8 OLI/TIRS C1 *path* 120 *row* 65 perekaman tanggal 19 Agustus 2016.
5. Citra landsat 8 OLI/TIRS C1 *path* 120 *row* 65 perekaman tanggal 25 Juni 2019.

6. Citra satelit pada *basemap* ArcGIS yang berasal dari Digital Globe Vivid 2.0 tanggal perekaman 5 Oktober 2019 wilayah BKPH Karangobar.

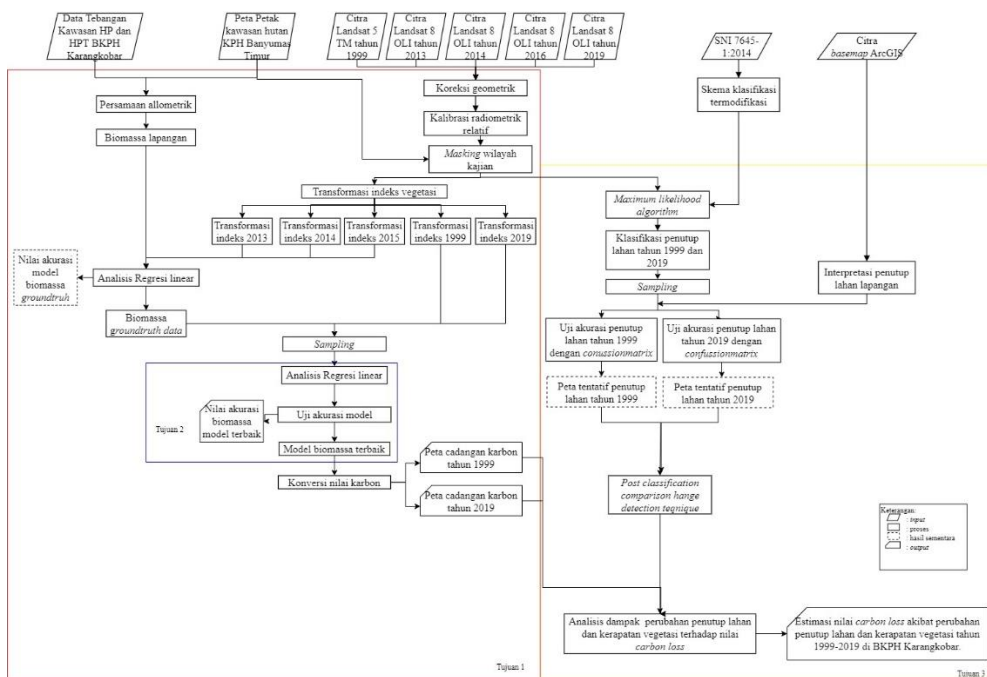
7. Peta Petak Kawasan Hutan di wilayah KPH Banyumas Timur.

8. Data Tebangan Hutan Produksi (HP) dan Hutan Produksi Terbatas (HPT) Kawasan Hutan BKPH Karangobar tahun 2013, 2014, dan 2016.

9. SNI 7645-1: 2014.

### Diagram alir penelitian

Alur proses penelitian secara ringkas disajikan pada diagram alir seperti pada gambar 1.



Gambar 1.

Diagram alir penelitian

### ***Pra-pemrosesan citra Landsat 5 TM dan Landsat 8 OLI/TIRS***

Tahap awal pemrosesan citra dilakukan dengan melakukan koreksi radiometrik kelima citra gingga tahap TOA *reflectance*. Kemudian, dilakukan kalibrasi radiometrik relatif dengan mengacu pada niali TOA *reflectance* citra Landsat 8 OLI/TIRS perekaman tahun 2019 karena memiliki rentang nilai yang relatif paling baik dan merupakan citra yang paling bersih dari awan. Kalibrasi radiometrik relatif dilakukan karena penelitian yang dilakukan bersifat multitemporal, sehingga diharapkan nilai pantulan objek pada kelima citra yang digunakan relatif serupa.

Setelah dilakukan koreksi radiometrik, kemudian dilakukan rektifikasi geometrik *image-to-image rectification* dengan mengacu pada citra Landsat 5 TM tahun perekaman 1999 karena memiliki nilai RMSE yang paling baik. Untuk tahap selanjutnya adalah pemotongan citra sesuai dengan wilayah kajian, yakni kawasan hutan produksi dan hutan produksi terbatas BKPH Karangkoobar.

### ***Transformasi indeks vegetasi***

Transformasi indeks diterapkan pada kelima citra dengan tujuan untk menonjolkan kenampakan vegetasi pada wilayah kajian. Transformasi indeks yang digunakan diantaranya, *Atmospheric Resistant Vegetation Index* (ARVI), *Normalized Difference* -1 hingga +1 (Danoedoro, 2012).

### ***Atmospheric Resistant Vegetation Index***

*Vegetation Index* (NDVI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), dan *Ratio Vegetation Index* (RVI). Sementara, persamaan yang digunakan dalam beberapa transformasi indeks tersebut diformulasikan sebagai berikut:

### ***Normalized Differences Vegetation Index***

$$\dots\dots\dots(3.6)$$

dimana  $BV_{inframerah\ dekat}$  merupakan saluran inframerah dekat, dan  $BV_{merah}$  merupakan saluran merah (Danoedoro, 2012).

### ***Ratio Vegetation Index***

$$\dots\dots\dots(3.7)$$

Seperti pada persamaan NDVI sebelumnya,  $BV_{inframerah\ dekat}$  merupakan saluran inframerah dekat, dan  $BV_{merah}$  merupakan saluran merah. Namun pada transformasi indeks SR formulasinya lebih sederhana (Danoedoro, 2012).

### ***Soil Adjusted Vegetation Index***

$$\dots\dots\dots (3.8)$$

Seperti pada persamaan sebelumnya,  $BV_{inframerah\ dekat}$  merupakan saluran inframerah dekat, dan  $BV_{merah}$  merupakan saluran merah, sedangkan L merupakan faktor koreksi untuk vegetasi, dimana nilai  $L=0$  digunakan untuk vegetasi yang sangat rapat dan nilai  $L=1$  digunakan untuk kondisi vegetasi yang sangat jarang, kemudian faktor pengali  $(1+L)$  merupakan faktor yang digunakan supaya julat transformasi yang dihasilkan bernilai antara  
 $\dots\dots\dots(3.9)$

dimana  $rb = BV_{merah} - \gamma (BV_{merah} - BV_{biru})$ , dengan  $\gamma$  biasanya diberi nilai 1,0. ARVI merupakan salah satu transformasi indeks yang disusun dengan tujuan untuk meminimalisir pengaruh atmosfer (Danoedoro, 2012).

### **Penyusunan groundtruth data**

*Groundtruth data* disusun dengan memanfaatkan data sekunder berupa data tebangan pohon BKPH Karangobar dan nilai indeks vegetasi untuk masing-masing data blok petak. Nilai diameter pohon yang diperoleh dari data sekunder, kemudian diubah menjadi nilai biomassa menggunakan persamaan (1 menurut Waterloo (1995, dalam Hairiah dan Rahayu 2007). Proses yang dilakukan adalah dengan menggunakan analisis regresi, yang kemudian diterapkan pada citra indeks untuk memperoleh nilai biomassa groundtruth.

$$D^{2,6576} \dots\dots\dots (3.10)$$

dimana BK merupakan berat kering atau dapat diartikan sebagai nilai biomassa vegetasi dalam satuan kg/pohon, dan D merupakan nilai diameter pohon dalam cm

Data sekunder yang digunakan adalah tebangan pohon pinus tahun 2013, 2014, dan 2019, sementara model yang akan dibangun adalah tahun 1999 dan 2019, maka nilai dilakukan analisis regresi I antara nilai biomassa lapangan dan nilai indeks vegetasi untuk memperoleh model biomassa *groundtruth* yang akan dijadikan acuan dalam

yang digunakan adalah 50%.

memodelkan nilai biomassa tahun 1999 dan 2019. Persamaan regresi yang diperoleh seperti pada formula persamaan (2 akan diubah menjadi formula persamaan (3, untuk kemudian diterapkan pada citra indeks, karena yang ingin diperoleh adalah nilai biomassa yang dalam hal ini nilai biomassa diwakilkan oleh sumbu x.

$$\dots\dots\dots (2)$$

$$\dots\dots\dots (3)$$

### **Estimasi nilai cadangan karbon**

Estimasi nilai cadangan karbon diperoleh dengan mengonversikan nilai biomassa model terbaik menjadi nilai cadangan karbon. Pada penelitian ini, nilai cadangan karbon diperoleh dari 50% dari nilai biomassa. Nilai tersebut diperoleh dengan mengacu pada beberapa penelitian sebelumnya, diantaranya Cartus *et al.*, (2014) menyatakan bahwa biomassa hutan dapat dikonversi menjadi cadangan karbon sebesar 0,44 hingga 0,516 dalam ton/ha, dimana persentase karbon dari suatu biomassa sebesar 44% hingga 51,6% dalam ton/ha. Hairiah dan Rahayu (2007) juga menyebutkan bahwa cadangan karbon dari biomassa rata-rata sebesar 46%. Selain itu, Ekoungoulou *et al.*, (2015) dalam penelitiannya menyatakan bahwa 50% dari biomassa tegakan merupakan cadangan karbon. Basuki (2012) juga menyebutkan dalam penelitiannya bahwa 50% dari biomassa tegakan merupakan cadangan karbon. Oleh karena itu, dalam penelitian ini besar konversi nilai biomassa menjadi karbon

### **Klasifikasi penutup lahan**

Klasifikasi penutup lahan dilakukan dengan menggunakan metode *terselia maximum likelihood algorithm*. Proses klasifikasi penutup lahan dilakukan dengan menggunakan *tool maximum likelihood* pada menu *supervised classification* pada perangkat lunak Envi. Metode klasifikasi yang digunakan adalah metode *terselia* atau *supervised classification*. Penggunaan model klasifikasi *maximum likelihood algorithm* karena algoritma tersebut mempertimbangkan nilai piksel di sekeliling piksel yang diamati, sehingga hasil dari klasifikasi akan teridentifikasi dengan baik. Klasifikasi penutup lahan dibuat dengan memodifikasi SNI 7645-1:2014 disesuaikan dengan kebutuhan penelitian ini. Hasil penutup lahan dari klasifikasi tersebut berupa vegetasi kerapatan tinggi, vegetasi kerapatan sedang, vegetasi kerapatan rendah dan non-vegetasi.

Setelah diperoleh hasil klasifikasi penutup lahan, dilanjutkan dengan proses uji akurasi akan dilakukan dengan menggunakan *confusion matrix* untuk memperoleh nilai *overall accuracy* dan nilai indeks Kappa. Uji akurasi dilakukan terhadap sampel klasifikasi penutup lahan menggunakan algoritma *maximum likelihood* terhadap klasifikasi penutup lahan *groundtruth*, dimana sampel ditentukan dengan menggunakan metode stratified random sampling.

Klasifikasi penutup lahan *groundtruth* dihasilkan dengan menggunakan klasifikasi pada citra berasal dari *basemap* ArcGIS yang

bersumber dari Digital Globe Vivid 2.0 perekaman tanggal 5 Oktober 2019, dengan resolusi spasial 0,46 meter. Sementara itu, untuk peta klasifikasi penutup lahan tahun 1999, tidak dilakukan uji akurasi membandingkan dengan citra resolusi lebih tinggi karena keterbatasan data yang tersedia, sehingga uji akurasi dilakukan dengan menggunakan ROI yang digunakan untuk menyusun klasifikasi sebagai *groundtruth*.

### ***Post classification comparison***

Metode *change detection* yang digunakan adalah metode PCC (*post classification comparison*), digunakan untuk mengetahui perubahan dari suatu fenomena dengan lebih detil karena menampilkan informasi perubahan dengan format "*from-to*". Metode PCC diberlakukan pada klasifikasi penutup lahan tahun 1999 dan 2019, serta hasil transformasi indeks yang menunjukkan model terbaik dalam mengestimasi nilai cadangan karbon tahun 1999 dan 2019. Sehingga dapat diperoleh perubahan penutup lahan dan perubahan kerapatan vegetasi, yang kemudian dapat digunakan untuk analisis nilai cadangan karbon yang hilang (*carbon loss*) pada tahun 1999-2019.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### ***Estimasi cadangan karbon***

Dalam penelitian ini, pengumpulan nilai biomassa lapangan tidak dilakukan secara langsung di lapangan, namun menggunakan data sekunder. Data sekunder yang digunakan untuk menentukan nilai biomassa lapangan

adalah data tebangan hutan BKPH Karangobar, dan diperoleh nilai keliling lingkaran pohon setiap blok sampel yang kemudian dikonversi menjadi nilai diameter pohon. Data biomassa lapangan disajikan pada tabel 1. Nilai transformasi indeks untuk setiap blok petak disajikan pada tabel 1.

Pemodelan biomassa *groundtruth* dilakukan dengan menggunakan analisis regresi, dimana persamaan regresi yang diperoleh seperti pada formula persamaan (1) akan diubah menjadi formula persamaan (2), untuk kemudian diterapkan pada citra indeks. Hasil analisis regresi I antara nilai biomassa lapangan dan nilai indeks vegetasi disajikan pada tabel 2.

Berdasarkan tabel 2, dapat diketahui bahwa hasil model ARVI dan SAVI memiliki nilai *f-signifikancy*  $<0,05$ . Hal tersebut berarti bahwa nilai indeks vegetasi tersebut dapat mewakili biomassa di lapangan dengan signifikan, sehingga hanya model transformasi indeks ARVI dan SAVI yang dapat dijadikan data *groundtruth* sebagai acuan dalam membuat biomassa model tahun 1999 dan 2019. Sementara, untuk model NDVI dan RVI tidak dapat digunakan untuk membuat *groundtruth data* karena nilai *f-signifikancy* yang  $>0,05$ . Oleh karena itu, hanya model SAVI dan ARVI saja yang dapat digunakan untuk membuat biomassa *roundtruth* untuk memodelkan biomassa tahun 1999 dan 2019. Nilai Biomassa *groundtruth* disajikan pada tabel 3.

Setelah diperoleh nilai biomassa *groundtruth*, selanjutnya adalah menentukan sampel yang akan digunakan untuk membangun model biomassa tahun 1999 dan 2019. Sebaran model untuk tahun 1999 dan 2019 dapat dilihat pada gambar 2. Metode *sampling* yang digunakan adalah *stratified random sampling*. Sampel diambil dari tiap blok petak yang memiliki umur yang sama dengan *groundtruth data*. Karena blok petak dari data sekunder merupakan objek berupa poligon, maka nilai piksel yang diambil sebagai sampel adalah rerata dari nilai piksel yang termasuk bagian dari blok petak tersebut. Nilai rerata tersebut akan dianggap sebagai satu nilai piksel, karena dalam satu blok petak berisikan pohon Pinus yang ditanam pada tahun yang sama, sehingga dianggap nilai piksel dalam satu blok petak tersebut adalah sama.

Proses pembuatan biomassa model dilakukan dengan melakukan analisis regresi antara *groundtruth data* dengan keempat nilai transformasi indeks. Nilai biomassa *groundtruth* yang dibuat dari data tahun 2013, 2014, dan 2016 tersebut digunakan sebagai data acuan dalam membuat model biomassa tahun 1999 dan 2019. Tujuan dari dibuatnya nilai biomassa model ini adalah untuk memperoleh model terbaik yang dapat menggambarkan kondisi lapangan, sehingga akan diperoleh estimasi nilai biomassa di sebagian wilayah BKPH Karangobar. Perhitungan nilai biomassa model dilakukan dengan menggunakan analisis regresi dengan hasil seperti yang ditampilkan pada tabel 4.

**Tabel 1.** Nilai biomassa lapangan dan nilai indeks vegetasi untuk membangun *groundtruth data*

(Sumber: analisis data)

No	Umur Pohon (th)	Blok Petak	Diameter Pohon (cm)	Biomassa (kg/pohon / piksel)	Biomassa (ton/Ha)	ARVI	NDVI	RVI	SAVI
1.	10	15a-I	9,906	18,49	2,78	0,586	0,674	5,226	0,438
2.	10	15a-III	10,801	23,26	1,33	0,604	0,693	5,578	0,456
3.	10	15a-VIII	10,237	20,17	0,49	0,618	0,705	5,840	0,469
4.	10	15a-IX	11,636	28,35	0,65	0,602	0,682	5,393	0,451
5.	10	15a-XII	10,310	20,56	0,76	0,606	0,693	5,571	0,458
6.	10	15a-XIII	12,949	37,67	1,07	0,618	0,688	5,507	0,473
7.	15	8g-I	15,502	60,77	27,25	0,532	0,699	5,671	0,408
8.	15	8g-II	13,390	41,18	5,89	0,546	0,704	5,772	0,421
9.	20	49f-I	15,687	62,72	17,15	0,500	0,664	4,996	0,375
10.	20	49f-II	15,513	60,89	29,55	0,497	0,671	5,102	0,374
11.	20	49f-III	12,350	33,22	3,4	0,486	0,682	5,296	0,363
12.	20	49f-V	15,214	57,82	16,35	0,504	0,691	5,485	0,378
13.	20	49f-VI	14,788	53,62	6,34	0,523	0,699	5,669	0,396
14.	20	50s-I	22,581	165,14	3,01	0,508	0,671	5,198	0,401
15.	20	50s-II	19,970	119,13	10,63	0,486	0,677	5,192	0,379
16.	20	50s-III	19,547	112,54	6,78	0,481	0,675	5,159	0,374
17.	20	50s-IV	20,939	135,12	2,84	0,451	0,659	4,882	0,345
18.	20	50s-V	19,101	105,85	4,09	0,505	0,685	5,389	0,397
19.	20	50s-VI	21,484	144,67	8,86	0,451	0,659	4,882	0,345

**Tabel 2.** Hasil analisis regresi I antara nilai biomassa lapangan dan nilai indeks vegetasi

Transformasi Indeks	r	R <sup>2</sup>	f-significancy	Persamaan regresi
ARVI	-0,407	0,408	0,025	
NDVI	-0,115	0,196	0,149	
RVI	-0,167	0,240	0,106	
SAVI	-0,434	0,467	0,014	

Sumber: analisis data

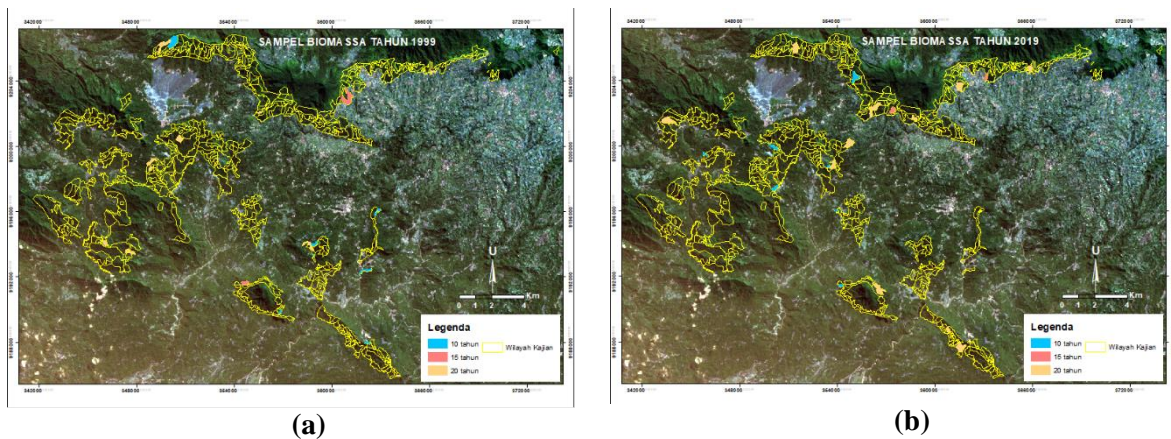
**Tabel 3.** Nilai biomassa *groundtruth* .

No	Umur Pohon (th)	Nomor blok petak	Biomassa Lapangan (ton/Ha)	ARVI'	SAVI'
1.	10	15a-I	2,78	-3,64	-2,51
2.	10	15a-III	1,33	-7,89	-9,09
3.	10	15a-VIII	0,49	-11,29	-13,63
4.	10	15a-IX	0,65	-7,48	-7,09
5.	10	15a-XII	0,76	-8,53	-9,59
6.	10	15a-XIII	1,07	-11,38	-14,87
7.	15	8g-I	27,25	9,153	7,92
8.	15	8g-II	5,89	5,84	3,40
9.	20	49f-I	17,15	16,74	19,74
10.	20	49f-II	29,55	17,56	19,97



11.	20	49f-III	3,4	20,08	23,95
12.	20	49f-V	16,35	15,95	18,48
13.	20	49f-VI	6,34	11,25	12,25
14.	20	50s-I	3,01	14,91	10,39
15.	20	50s-II	10,63	19,96	18,05
16.	20	50s-III	6,78	21,34	19,95
17.	20	50s-IV	2,84	28,41	30,35
18.	20	50s-V	4,09	15,60	11,85
19.	20	50s-VI	8,86	28,41	30,35

Sumber: analisis data



**Gambar 2.** Sampel biomassa lapangan. (a) Sampel biomassa lapangan tahun 1999; (b) Sampel biomassa lapangan tahun 2019.

**Tabel 4.** Hasil analisis regresi antara *groundtruth data* dengan nilai transformasi indeks tahun 1999 dan 2019

Transformasi Indeks	Tahun	Persamaan Regresi	Korelasi (r)	R <sup>2</sup>	f-significancy
ARVI	1999		-0,3438	0,4579	0,01108
	2019		-0,5376	0,5802	0,00248
SAVI	1999		-0,4558	0,5760	0,00263
	2019		-0,7315	0,7952	0,00004

Sumber: analisis data

Model biomassa terbaik untuk tahun 1999 dan 2019 adalah SAVI. SAVI dianggap baik karena memiliki nilai significansy <0,05. Selain itu juga nilai R<sup>2</sup> untuk kedua tahun tersebut pada model SAVI merupakan nilai tertinggi, yang artinya SAVI model tahun 1999 dapat menggambarkan kondisi lapangan sebesar 57,60% dan pada tahun 2019 dapat menggambarkan kondisi lapangan sebesar

79,52% secara signifikan. SAVI dapat menjadi model yang terbaik dalam penelitian ini karena SAVI merupakan indeks vegetasi yang dibangun untuk menekan gangguan latar belakang tanah. Gangguan tanah berupa respons spektral tanah yang bercampur dengan respons vegetasi dapat mempengaruhi keakuratan indeks vegetasi yang dibangun, karena dalam penelitian ini objek vegetasi

yang menjadi fokus kajian adalah pinus, maka kemungkinan munculnya gangguan dari tanah sangat besar. Gangguan tanah muncul disebabkan karena struktur daun pinus sendiri adalah berdaun jarum, sehingga kanopi dari pinus tidak menutup latar belakang tanah dibawahnya seperti vegetasi berdaun lebar lainnya. Oleh karena itu apabila dibandingkan dengan ARVI, SAVI akan membentuk model yang lebih baik karena dapat menekan pengaruh dari latar belakang tanah tersebut.

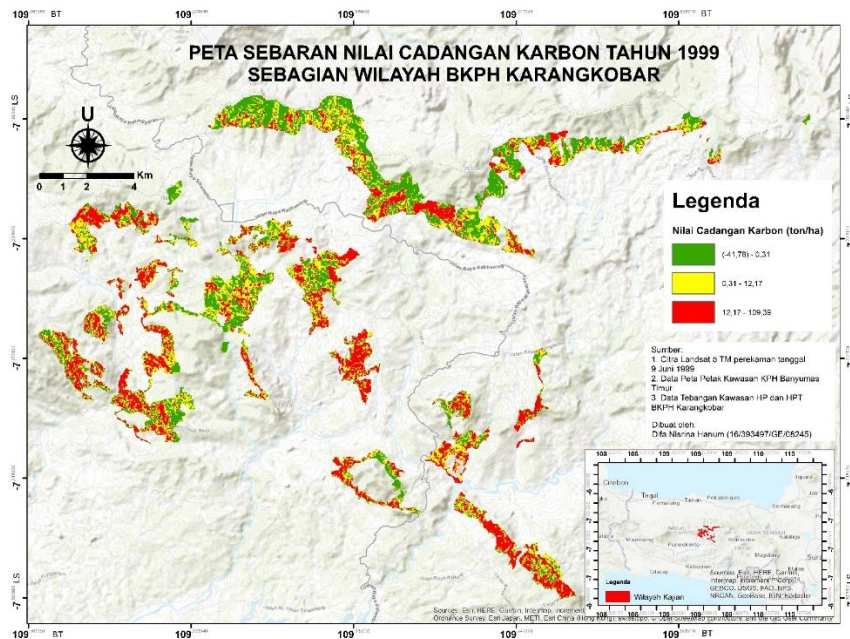
Setelah diperoleh model biomassa terbaik, kemudian perlu diketahui nilai akurasi dari mode SAVI tersebut. Proses perhitungan nilai akurasi dilakukan dengan menggunakan metode *Standar Error* (SE). Perhitungan nilai SE dilakukan terhadap model SAVI tahun 1999 dan 2019, yang disajikan pada tabel 5. Berdasarkan tabel tersebut, diperoleh besar kesalahan nilai biomassa yang mungkin terjadi dalam pemodelan adalah sebesar 34,88 ton/Ha untuk tahun 1999 dan sebesar 18,82 ton/Ha untuk tahun 2019.

Berdasarkan nilai biomassa model yang telah diperoleh sebelumnya, dihasilkan nilai cadangan karbon di sebagian wilayah BKPH Karangobar seperti pada gambar 3 dan gambar 4. Pada kedua gambar tersebut tersaji sebaran nilai cadangan karbon di sebagian wilayah BKPH Karangobar. Nilai karbon disajikan dalam 3 kelas untuk mempermudah visualisasi nilai karbon. Pada gambar 4.16, tersaji nilai cadangan karbon pada tahun 1999 dengan rentang antara -41,78 ton/ha hingga 109,39 ton/ha. Kelas karbon tinggi yang divisualisasikan dengan warna merah lebih mendominasi dibandingkan kelas lain. Kemudian, apabila dibandingkan dengan gambar 4.17, yang menyajikan nilai cadangan karbon tahun 2019 terlihat terdapat perbedaan. Untuk rentang nilai cadangan karbon yang ada berbeda dengan sebelumnya, yakni antara -43,04 ton/ha hingga 54,19 ton/ha. Nilai maksimal cadangan karbon tahun 2019 jauh lebih kecil dibandingkan dengan tahun 1999, hal tersebut menunjukkan adanya penurunan.

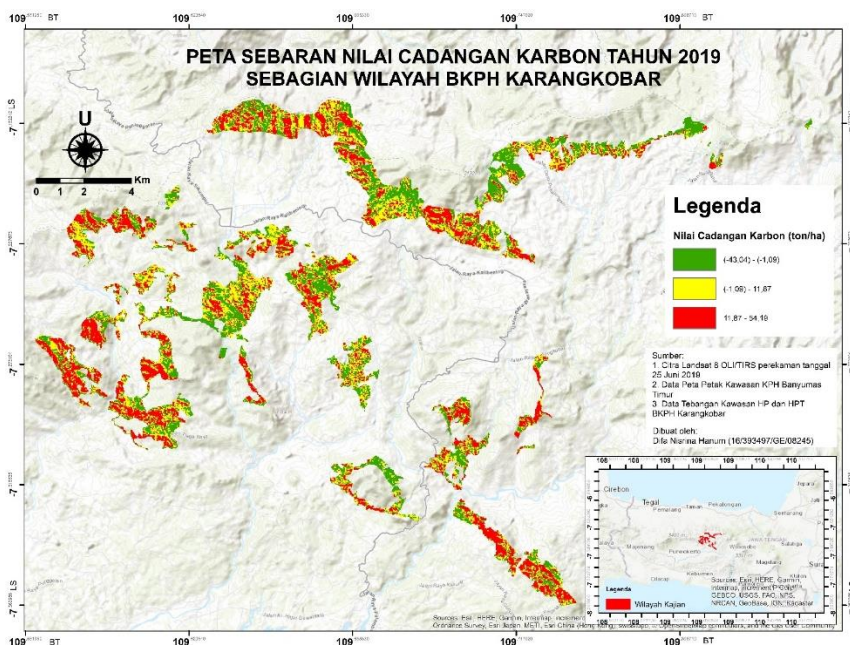
**Tabel 5.** Hasil perhitungan uji akurasi model menggunakan metode *standar error* .

Transformasi Indeks	Tahun	Standart Error (ton/ha)
ARVI	1999	36,72
	2019	20,77
SAVI	1999	34,88
	2019	18,82

Sumber: analisis data



**Gambar 3.** Peta sebaran nilai cadangan karbon tahun 1999 (Sumber: pengolahan data).



**Gambar 4.** Peta sebaran cadangan karbon tahun 2019 (Sumber: pengolahan data).

### **Perubahan penutup lahan**

Klasifikasi penutup lahan dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui bagaimana perubahan penutup lahan yang terjadi di wilayah BKPH Karangobar. Selain itu, juga untuk mengetahui pengaruh dari perperubahan penutup lahan tersebut terhadap

besar nilai cadangan karbon yang hilang (*carbon loss*). *Training area* yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan klasifikasi penutup lahan yang dibutuhkan, maka *training area* dibuat dengan memanfaatkan *tool ROI tool*. Pembuatan ROI diawali dengan menginterpretasi secara visual

setiap kelas penutup lahan, seperti yang tersaji pada tabel 6.

Proses uji akurasi penutup lahan untuk mengetahui seberapa baik klasifikasi penutup lahan yang telah dibangun sebelumnya dilakukan dengan menggunakan metode *confusion matrix*, membandingkan sampel hasil klasifikasi algoritma *maximum likelihood* dengan hasil klasifikasi penutup lahan sebenarnya dan dengan menggunakan perhitungan indeks Kappa. Karena dalam penelitian ini tidak dilakukan survei lapangan,

maka untuk menguji akurasi penutup lahan digunakan data sekunder berupa citra dengan resolusi yang lebih tinggi pada waktu perekaman yang berdekatan, sehingga dapat menggambarkan kondisi lapangan yang sesungguhnya. Perhitungan uji akurasi dan nilai indeks Kappa untuk klasifikasi penutup lahan tahun 2019 disajikan pada tabel 7. Pada tabel tersebut, diketahui nilai *overall accuracy* sebesar 0,82 atau dalam persentase sebesar 82% akurat. Sementara untuk nilai indeks Kappa yang diperoleh sebesar 0,73 yang berarti nilai indeks Kappa tersebut kuat.

**Tabel 6.** Kunci interpretasi dalam penyusunan ROI klasifikasi penutup lahan.

Kelas penutup lahan	Kunci Interpretasi	
	<i>True color</i>	<i>False color standart</i>
Vegetasi tegakan kerapatan tinggi	- Rona gelap - Warna hijau - Tekstur halus - Pola teratur	- Rona gelap - Warna merah - Tekstur halus - Pola teratur
Vegetasi tegakan kerapatan sedang	- Rona terang - Warna hijau - Tekstur kasar - Pola agak teratur	- Rona terang - Warna merah - Tekstur kasar - Pola agak teratur
Vegetasi tegakan kerapatan rendah	- Rona sangat terang - Warna hijau - Tekstur sangat kasar - Pola tidak teratur	- Rona sangat terang - Warna merah muda - Tekstur sangat kasar - Pola tidak teratur
Non-vegetasi tegakan	- Rona gelap - Warna biru - Tekstur halus - Warna putih - Tekstur halus - Warna kuning - kecoklatan - Tekstur kasar - Pola tidak teratur - Warna coklat - Tekstur kasar - Pola tidak teratur	- Rona gelap - Warna biru - Tekstur halus - Warna putih - Tekstur halus - Warna cyan - Tekstur kasar - Pola tidak teratur - Warna hijau - Tekstur kasar - Pola tidak teratur

Sumber: hasilinterpretasi visual

**Tabel 7.** Perhitungan *confusion matrix* penutup lahan tahun 2019.

		Vegetasi tegakan kerapatan tinggi	Vegetasi tegakan kerapatan sedang	Vegetasi tegakan kerapatan rendah	Non-vegetasi tegakan	Total baris	Producer accuracy	Omission error
Efikasi insum hood	Vegetasi tegakan kerapatan tinggi	44	4	1	1	50	0,88	99,12
	Vegetasi tegakan kerapatan sedang	2	24	3	0	29	0,83	99,17
	Vegetasi tegakan kerapatan rendah	3	2	14	3	22	0,64	99,36
	Non-vegetasi tegakan	0	1	0	8	9	0,89	99,11
Jumlah kolom		49	31	18	12	110		
Overall accuracy		0,90	0,77	0,78	0,67	Overall accuracy		0,82
Omission error		99,10	99,23	99,22	99,33	Indeks Kapaa		0,73

Sumber: analisis data

Class Confusion Matrix									
File									
Confusion Matrix: D:\DOCUMENT\SEMESTER 8\SKRIPSI\OLAH DATA\PRA LAPANGAN\6. KLAS									
Overall Accuracy = (476/550) 86.5455%									
Kappa Coefficient = 0.8146									
Ground Truth (Pixels)									
Class	Vege	Krptn	Ti	Vege	Krptn	Re	Non	Vegetasi	Total
Unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vege Krptn Ti	108	6	0	30	0	0	0	0	114
Vege Krptn Se	2	80	0	81	0	0	0	0	112
Vege Krptn Re	1	26	0	81	6	0	0	0	112
Non Vegetasi	2	0	1	1	207	0	0	0	210
Total	113	112	112	213	213	0	0	0	550
Ground Truth (Percent)									
Class	Vege	Krptn	Ti	Vege	Krptn	Re	Non	Vegetasi	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vege Krptn Ti	95.58	5.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.73
Vege Krptn Se	1.77	71.43	0.00	26.79	0.00	0.00	0.00	0.00	20.36
Vege Krptn Re	0.88	23.21	0.00	72.32	2.82	0.00	0.00	0.00	20.73
Non Vegetasi	1.77	0.00	0.00	0.89	97.18	0.00	0.00	0.00	38.18
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Commission (Percent)									
Class	Commission	Omission	Commission	Omission	Commission	Omission	Commission	Omission	
Vege Krptn Ti	5.26	4.42	6/114	5/113	6/114	5/113	6/114	5/113	
Vege Krptn Se	28.57	28.57	32/112	32/112	32/112	32/112	32/112	32/112	
Vege Krptn Re	28.95	27.68	33/114	31/112	33/114	31/112	33/114	31/112	
Non Vegetasi	1.43	2.82	3/210	6/213	3/210	6/213	3/210	6/213	
Prod. Acc. (Percent)									
Class	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.	
Vege Krptn Ti	95.58	94.74	108/113	108/114	108/113	108/114	108/113	108/114	
Vege Krptn Se	71.43	71.43	80/112	80/112	80/112	80/112	80/112	80/112	
Vege Krptn Re	72.32	71.05	81/112	81/114	81/112	81/114	81/112	81/114	
Non Vegetasi	97.18	98.57	207/213	207/210	207/213	207/210	207/213	207/210	

Gambar 5. Hasil perhitungan *confusion matrix* penutup lahan tahun 1999.

Tabel 8. Matriks perubahan PCC penutup lahan tahun 1999 dan 2019

	Vegetasi tegakan kerapatan tinggi	Vegetasi tegakan kerapatan sedang	Vegetasi tegakan kerapatan rendah	Non-vegetasi
Vegetasi tegakan kerapatan tinggi	48.155	1.602	710	3
Vegetasi tegakan kerapatan sedang	7.889	1.621	488	1
Vegetasi tegakan kerapatan rendah	7.057	556	832	3
Non-vegetasi tegakan	1.827	100	227	3
dimana	Piksel yang mengalami			



	perubahan penutup lahan vegetasi tegakan menjadi non-vegetasi tegakan
	Piksel yang mengalami penurunan kerapatan vegetasi
	Piksel yang tidak mengalami perubahan kelas penutup lahan
	Piksel yang mengalami peningkatan kerapatan vegetasi

Sumber: analisis data

**Tabel 9.** Rekapitulasi perubahan penutup lahan tahun 1999-2019

Perubahan penutup lahan	Jumlah piksel	Luas (Ha)
Vegetasi tegakan menjadi non-vegetasi tegakan	833	749,7
Penurunan kerapatan vegetasi	2.800	2.520
Peningkatan kerapatan vegetasi	17.656	8.790,3

Sumber: analisis data

**Tabel 10.** Nilai perubahan cadangan karbon berdasarkan ketiga kategori perubahan penutup lahan tahun 1999-2019

		Kategori perubahan penutup lahan		
		Penurunan Kerapatan Pinus	Peningkatan Kerapatan Pinus	Pinus menjadi Non-Pinus
		(a)	(b)	(c)
<b>Nilai Cadangan Karbon riil (ton/Ha)</b> <b>Selisih nilai karbon tahun 1999 dan 2019</b> <b>Perubahan nilai</b>	<b>1999</b>	-10.007,40	374.770,30	14.875,79
	<b>2019</b>	-51.197,80	64.250,40	36.444,53
	41.190,40	310.519,74	21.568,74	
	Berkurang	Berkurang	Meningkat	

Sumber: analisis data

Sementara itu, untuk uji akurasi penutup lahan tahun 1999 hanya dapat dilakukan dengan memanfaatkan data ROI yang dibunakan untuk membangun klasifikasi penutup lahan tahun 1999, dimana ROI tersebut dianggap sebagai *groundtruth*. Berdasarkan perhitungan *confusion matrix*

tersebut, diperoleh nilai *confusion matrix* sebesar 86,55%, dengan nilai indeks Kappa sebesar 0,8146, seperti yang tersaji pada gambar 5. Nilai tersebut sudah cukup baik untuk menggambarkan kondisi sebenarnya di lapangan karena nilai indeks

Kappa yang berarti sangat kuat.

Setelah diperoleh klasifikasi penutup lahan sebagian wilayah BKPH Karangobar tahun 1999 dan 2019, kemudian perlu dianalisis perubahan penutup lahan yang terjadi. Proses analisis perubahan dilakukan dengan membandingkan setiap piksel penutup lahan tahun 1999 terhadap 2019. Hasil perubahan dengan PCC dapat dilihat pada tabel 8. Pada tabel tersebut disajikan informasi jumlah piksel penutup lahan yang berubah. Dari total piksel yang mewakili wilayah kajian, yakni sebanyak 72.215 piksel diketahui terdapat 50.926 piksel tidak berubah kelas penutup lahannya dan sebanyak 21.289 piksel berubah. Piksel yang berubah tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua perubahan, yakni 1) perubahan dari penutup lahan vegetasi tegakan menjadi non-vegetasi tegakan serta 2) perubahan kerapatan vegetasinya. Jumlah piksel yang berubah dari kelas penutup lahan vegetasi tegakan menjadi non-vegetasi adalah sebanyak 833 piksel. Untuk mempermudah pembacaan, perubahan penutup lahan yang terjadi di sebagian wilayah BKPH Karangobar dapat dilihat pada tabel 9.

Setelah diketahui bahwa diantara tahun 1999 hingga 2019 terdapat perubahan penutup lahan, maka perlu diketahui bagaimana pengaruh dari perubahan penutup lahan tersebut terhadap nilai cadangan karbon khususnya pada nilai cadangan karbon yang hilang (*carbon loss*) di sebagian wilayah BKPH Karangobar yang dilakukan dengan menghitung besar nilai cadangan karbon dimasing-masing kategori perubahan penutup

lahan yang terjadi. Berdasarkan hasil PCC sebelumnya, diketahui jumlah piksel dan luasan penutup lahan yang mengalami perubahan. Berdasarkan luasan perubahan yang telah diketahui tersebut, diperoleh nilai cadangan karbon yang berubah untuk setiap kategori perubahan penutup lahan, seperti pada tabel 10. Pada tabel tersebut tersaji nilai karbon pada tahun 1999 dan 2019 untuk masing-masing kategori perubahan penutup lahan.

Berdasarkan hasil perhitungan perubahan nilai cadangan karbon berdasarkan tiga kategori perubahan penutup lahan tersebut, diketahui bahwa perubahan penutup lahan dan kerapatan vegetasi mempengaruhi penurunan nilai cadangan karbon atau *carbon loss* dengan nilai total penurunan sebesar 351.710,14 ton/Ha dari tahun 1999 hingga 2019. Penurunan tersebut diakibatkan karena perubahan kerapatan vegetasi pada penutup lahan vegetasi tegakan.

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh pada penelitian ini adalah:

1. Nilai cadangan karbon di sebagian wilayah BKPH Karangobar tahun 1999 memiliki rentang nilai antara -41,78 ton/ha hingga 109,39 ton/ha, sedangkan untuk tahun 2019 memiliki rentang nilai antara -43,04 ton/ha hingga 54,19 ton/ha. Nilai cadangan karbon tersebut disajikan dalam tiga kelas, yakni kelas tinggi, sedang dan rendah dengan dominasi nilai cadangan

karbon pada kedua tahun tersebut adalah kelas tinggi.

2. Akurasi dari model biomassa diperoleh bahwa SAVI menjadi model terbaik dalam menggambarkan nilai cadangan karbon di sebagian wilayah BKPH Karangobar tahun 1999 dan 2019. Model cadangan karbon SAVI tahun 1999 memiliki nilai koefisien korelasi yang cukup kuat ( $r=-0,46$ ), sedangkan model SAVI tahun 2019 memiliki nilai koefisien korelasi yang kuat ( $r=-0,69$ ), dimana kedua model tersebut bersifat negatif. Walaupun memiliki nilai koefisien korelasi yang bersifat negatif, namun kedua model tersebut dapat menggambarkan kondisi di lapangan dengan signifikan. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai *f-significancy*  $<0,05$ , yakni sebesar 0,047 untuk model SAVI tahun 2019 dan sebesar 0,002 untuk model SAVI tahun 2019. Nilai  $R^2$  untuk kedua model tersebut juga baik karena model SAVI tahun 1999 dapat menggambarkan kondisi lapangan sebesar 28,90% dan  $R^2$  sebesar 56,15% untuk model SAVI tahun 2019. Sementara itu, nilai *error* yang diperoleh dari uji validasi menggunakan metode SE diperoleh nilai *error* sebesar 18,15 ton/Ha untuk model SAVI tahun 1999 dan sebesar 15,20 ton/Ha untuk model SAVI tahun 2019.

3. Perubahan nilai karbon antara tahun 1999 dan 2019 dipengaruhi oleh perubahan penutupan lahan. Perubahan penutupan lahan dan kerapatan vegetasi mempengaruhi penurunan nilai cadangan karbon atau *carbon loss* dengan nilai total penurunan sebesar 351.710,14 ton/ha dari tahun 1999 hingga 2019.

#### 4. DAFTAR PUSTAKA

5. Basuki, TM, 2012, Quantifying Tropical Forest Biomass, *Disertas*, Faculti of Geo-Informastion Science and Earth Observation, ITC, Belanda.
6. Cartus, O, Kelldofer, J, Walker, W, Franco, C, Bishop, J, Santos, L, dan Fuentes, JMM, 2014. A National, Detailed Map of Forest Aboveground Carbon Stock in Mexico, *Jurnal of remote Sensing Volume 6, Halaman 5559-5588*.
7. Danoedoro, P, 2012, *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Penerbit ANDI, Yogyakarta.
8. Ekoungoulou, R, Niu, S, Loumeto, JJ, Ifo, SA, Bocko, YE, Mikieleko, FEK, Guiekisse, EDM, dan Liu, X, 2015, Evaluating the Carbon Stock in Above- and Below Ground Biomass in a Moist Central African Forest, *Journal of Applied Ecology and Environmental Science, Volume 3, Nomor. 2, halaman 51-59*.
9. Hairiah, K, dan Rahayu, S, 2007. Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penutupan